

Agent 기반 모델링에 의한 근접전투 손실예측 방법론 (Agent-Based Modeling Methodology for Close-Combat Attrition Estimates)

김 희 수(Hee-Soo Kim)*, 이 재 호(Jae-Ho Lee)**, 신 현 주(Hyun-Ju Shin)***

초 록

본 연구는 근접전투 손실 모델링 분야에서 좀 더 개선된 워게임 모델링 방법론을 제시한다. 지금까지 군사 운영분석가들은 랜체스터형 미분 방정식과 같은 방정식 기반 모델링 방법론을 사용해서 전투손실 평가를 하고 있다. 방정식 기반 모델링 방법론은 워게임 모의결과를 분석 및 평가하기는 용이하나 동적인 전장환경을 모의하기에는 다수의 제한사항을 포함하고 있다. 이러한 방정식 기반 모델링 방법론의 결점을 극복하기 위해서 본 연구에서는 에이전트 기반 모델링 방법론을 제시한다. 에이전트 기반 모델링 방법론은 전투손실 계수 대신에 전투손실 행위에 기반하여 근접전투를 모델링한다. 2가지 모델링 방법론에 의해서 유사한 근접전투 상황 하에서 모델링 된 자료를 모의하여 비교분석 및 평가한다.

Abstract

This paper suggests more improved war-game modeling methodology for close combat attrition modeling. Military operation analysts have been using equation-based modeling techniques such as Lanchester-type differential equation modeling, for combat attrition evaluation. This modeling methodology is easy to analyze and evaluate the war-game simulation results but has several limitations to simulate the dynamic combat environment. To overcome these shortcomings, we propose the agent-based modeling methodology. This methodology is modeling close combat based in attrition behaviors instead of attrition coefficients. The simulation analysis & evaluation is executed for these two kinds of modeling methodology on the similar close combat situation.

KeyWords: 워게임(War-game), 방정식기반 모델링(Equation-based Modeling), Agent기반 모델링 (Agent-based Modeling)

* 육군본부 분석평가단

** 서울시립대학교 지능형 로봇틱 시스템 연구센터

*** 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부

1. 서론

1.1 연구 배경

역사적으로 1, 2차 세계대전은 전선(Front Line)을 형성하는 '선(Line)' 개념의 전쟁양상으로 진행되었다. 이러한 전쟁양상은 1960~70년대 냉전 시나리오에 의한 물리적 파괴 중심의 소모전 양상으로 진행되었다. 1991년 걸프전쟁에서부터는 전 공간에 걸쳐서 전략적·작전적 중심을 식별하고 선별된 중심에 대해서 동시에 타격하여 적의 전투력을 마비시키는 '전공간·다중심' 개념의 동시전투 양상으로 변화되었다. 특히 정보기술(IT)을 활용하여 제반 전투력의 동시통합을 강화하고, 정밀타격 능력을 통하여 장거리에서도 필요한 표적들을 정확하게 타격하게 되었다. 2003년의 이라크 전쟁에서는 정밀 타격과 지상군의 동시통합 개념이 강화되었다. 필요한 표적에 대하여 정밀타격을 실시함과 동시에 지상군이 진격하여 적을 마비시키고 적의 전략적 중심을 신속하게 확보하는 것이 전쟁수행의 핵심이 되었다.

전쟁양상의 변화는 무기체계의 발달과 전장교리의 발전으로 이어지면서 장차전쟁에 대하여 워게임 모델로 전투손실을 예측하는 모델링 방법론상에도 제고해야 할 필요성이 대두되었다. 전투손실을 예측하는 현존 모델링 분야에서 군사 운영분석가들은 지난 수십년 동안 랜체스터형 미분 방정식 기반 모델링 방법

론을 사용하고 있다. 랜체스터형 미분 방정식 모델링 방법론은 정량적 분석에는 유용하나 정성적 분석에 대해서는 제한 사항을 가지고 있다. 본 방법론은 전투력 집중의 원칙, 상대적 사격 효율성과 전투력 수준 및 비율을 정량화 하는 것은 쉬우나 부대 전진/퇴각과 같은 부대 기동간 손실산정이 어려우며, 전투 간 변화요소 적용이 반영되지 않으며, 전술적 의사결정 과정을 고려할 수 없으며, 지휘/통제/통신/컴퓨터 및 통합정보 기능(C4I)이 반영된 근접전투 손실산정이 어려운 단점이 있다.

본고에서 제시하는 에이전트 기반 모델링 방법론은 목적지향 행위를 사용해서 특정 전장 환경에서 비동시적이고 자율적으로 인지하고 상호작용(Interaction)을 해서 근접전투 손실을 모의하는 새로운 접근방법을 개발한다. 자율적 에이전트를 사용한 행위 모델링은 근접전투 상황과 같은 동적 환경에 유용한 접근방법이다. 에이전트 기반 행위는 부대 상태에 따라 분리하고 전투부대의 유한상태 장치(Finite State Machine)에 따라서 수행 된다. 즉, 에이전트 기반 행위는 각각 다른 상태 내 사건에 대해서 반응활동으로 행동 하도록 하는 것이다. 이러한 접근방법은 다양한 전투 환경에 적절한 좀더 실전적인 전투 손실을 평가할 수 있다.

1.2 문헌 연구

본 연구는 최초 현대/미래 전 양상의 변

화에 따라 신뢰성 있는 전투손실 예측을 하기 위한 방법론을 찾고자 하는 데서 출발 하였다. 현재까지 군사 운영분석 (Military Operations Research) 분야에서 전투손실 예측을 위하여 사용되고 있는 랜체스터형 방정식 기반 모델링 방법론에 대한 관련 문헌은 2절에서 언급하였다.

정보기술(IT)의 발달로 현대/미래 전장의 핵심요소인 전장정보를 수집/분석하여 신속한 전파로 정보를 공유하고 전장상황을 인식하여 지휘관 의사결정에 의한 즉시적 명령 하달로 전투 임무를 수행하는 순환(Feedback) 과정을 정적인(Static) 방정식 기반 방법론으로 모델링하기에는 제한사항이 있어서 1998년 이후 발전된 인공지능 기법 중 하나인 에이전트 (Agent) 기법을 활용한 에이전트 기반 방법론을 위게임에 적용한 연구 논문이 제시되고 있다.

2000년대 들어서 Andy Ilachinski는 랜체스터형 방정식 모델링 방법론을 대체할 수 있는 에이전트 기반 지상전투 기본모형(Toy Model)을 제시 하였다. 이 모형은 과거 선례에 없는 에이전트 기반 방법론으로 변환을 시도한 초석으로서 인공지능 기법을 위게임에 적용할 수 있는 연구의 발전성을 열어주었다. Reynolds & Dixon(2001년)은 복잡성이론(Complexity Theory)을 활용하여 에이전트 간 상호작용으로 전투 모델링이 될 수 있는 Platform을 제시 하였다. 2002년 Michael Barlow & Adam

Easton 은 3차원 지형정보기술과 다중 에이전트가 일련의 규칙에 의해 전투임무수행을 하는 체계(Multi-Agent- based Combat Distillation Systems)를 접목시켜 전장 환경의 복잡성을 실전적으로 반영하고자 하였다. Kewley & Larimer (2003년)는 전장정보 가치를 정량화하기 위한 방법론으로 에이전트 기반 모델링을 적용하여 2개의 전술적 의사결정 에이전트 (Route Agent, Position Agent)를 사용하여 모의실험 결과 전장 정보획득에 의한 신속한 지휘결심으로 3.8배의 적 손실 효과를 증대시킬 수 있다는 결과 치를 도출하였다. CAISR 체계 효과분석을 위해서 DeStefano(2004년)는 에이전트 기반 모의를 위해서 Colored Petri Nets(CPN) 방법을 사용하여 ISR 자산의 정보 수집 소요시간 판단과 수집계획 수행방법을 역동적으로 결정할 수 있도록 하였다. 이렇게 에이전트 기반 모델링 방법론이 군사적으로 적용되는 분야는 활용 및 중요성이 증대되어 지속적으로 연구논문이 발표되고 있다.

1.3 연구 구성

본 연구는 2절에서 방정식 기반 모델링 방법론과 에이전트 기반 모델링 방법론의 개념 및 이론에 대해서 설명한다. 3절에서는 모의실험을 위한 청홍군 보유화기 및 근접 전투 상황 시나리오를 구성하며, 4절에서는 양 모델링 방법론에 의한 모의 후 손실산정 결과에 대해서

설명한다. 방정식 기반 대 에이전트 기반 근접 전투 손실 모의결과는 5절에서 비교 분석 및 평가되고, 6절에서는 에이전트 기반 모델링 방법론의 군 적용 가능분야 및 차후 연구방향을 제시한다.

2. 방정식 기반 모델링 대 에이전트 기반 모델링 방법론

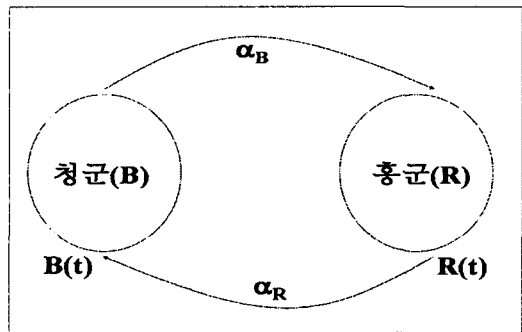
방정식 기반 모델링이 시스템 변수를 식별해서 해당 변수와 관련된 일련의 방정식을 평가하거나 통합하는 반면 에이전트 기반 모델링은 시스템을 구성하는 각각의 다양한 행동을 지니고 있는 일련의 에이전트를 구성해서 행동이 실행되도록 한다 [1]. 2절에서는 근접전투 손실분야에서 방정식 기반 모델링 방법론과 에이전트 기반 모델링 방법론의 개념 및 이론을 설명한다. 양 모델링 방법론들은 좀 더 실전적인 근접전투 손실평가를 하고자 방법론을 확장시키고 있다.

2.1 방정식 기반 모델링 방법론의 개념 및 이론

2.1.1 동질의 무기체계간 랜체스터형 방정식 기반 모델링

1914년 F.W. 랜체스터는 현대적 여건하 집중의 원칙을 정량적으로 입증하기 위해서 전투

의 수리적 정형화를 고려하였다 [2]. 랜체스터형 방정식 기반 모델링의 기본 형태를 그림1에서 나타낸다. 여기서 t 는 전투시간을 나타내고 α_B 와 α_R 로 표기된 랜체스터 손실률 계수는 각개 단일 사격화기가 적 표적을 살상하는 비율로서 단일 무기체계형태 살상율이다.



<그림 1> 랜체스터형 모델링의 기본 형태

<그림 1>은 아래의 방정식 (1), (2) 와 같이 표현할 수 있다.

$$dR/dt = -\alpha_B \cdot B(t), R(0) = R_0 \dots \dots (1)$$

$$dB/dt = -\alpha_R \cdot R(t), B(0) = B_0 \dots \dots (2)$$

방정식 (1), (2) 를 적분하면 방정식 (3) 과 같은 "랜체스터 2차 법칙"을 구할 수 있다.

$$\alpha_B \cdot (B_0 - B) = \alpha_R \cdot (R_0 - R) \dots \dots (3)$$

방정식 (3) 은 한편의 전투원의 수를 대량으로 전장에 투입하게 되면 사상자의 수를 현저히 줄일 수 있다는 중요한 의미를 담고 있다. 이 방정식은 아군의 전투 손실은 적군 직사화기 사격자의 숫자에 비례한다고 가정한 것으로 "직접사격 랜체스터 방정식"에 해당된다.

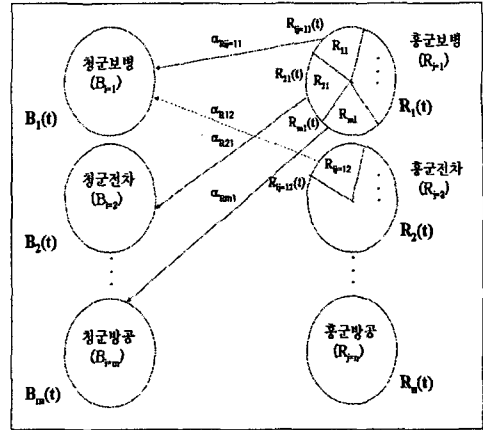
"간접사격 랜체스터 방정식"은 적이 점령한 일반적 지역으로 사격하고 특정의 표적에 대하여 사격하지 않는 경우를 가정하였다. 즉 사격은 표적에 관계없이 지역에 균일하게 분포된다는 의미이다. 이 경우 랜체스터 방정식은 다음과 같이 설정할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{dR}{dt} &= -\alpha B \cdot R(t) \cdot B(t), R(0) = R_0 \\ \frac{dB}{dt} &= -\alpha R \cdot R(t) \cdot B(t), B(0) = B_0 \end{aligned} \quad \text{--- (4)}$$

방정식 (4) 의 의미는 간접사격의 경우는 집중의 효과를 얻을 수 없는 것으로 야전포병의 경우 집중운용이나 분산운용이나 적에게 손상을 미치는 정도는 차이가 없다는 것으로 설명된다.

2.1.2 이질의 무기체계간 랜체스터형 방정식 기반 모델링

방정식 (3), (4)의 "직접/간접 사격 랜체스터 방정식"은 동질(Homogeneous)의 무기체계 간 교전에 의한 손실 과정이 고려되므로 현대의 제병협동 무기체계가 복합적으로 운용되는 이질(Heterogeneous)의 무기체계 간 상호작용에 의한 손실과정으로 세분화하는 것은 반영되지 않았다. 1980년 J.G. 테일러는 현대적 복합무기 체계를 고려한 랜체스터형 전투손실 방정식을 수리화 하였다 [3].



<그림 2> 복합무기 체계 하 랜체스터형 모델링

<그림 2>의 이질적 무기체계간 전투에서 랜체스터형 직접사격 모델링은 방정식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dR_j}{dt} = - \sum_{i=1}^m \alpha B_{ji} \cdot B_i(t) \quad \text{--- (5)}$$

$$\frac{dB_i}{dt} = \sum_{j=1}^n -\alpha R_{ij} \cdot R_j(t)$$

방정식 (5) 에서 $B_i(t)$ 와 $R_j(t)$ 는 시간 t 에 평균(B) i 번째 무기체계의 숫자 또는 총군(R) j 번째 무기체계의 숫자를 나타내고, αB_{ji} 는 B_i 사격화기가 R_j 표적을 살상하는 비율이며 αR_{ij} 는 반대로 R_j 사격화기가 B_i 표적을 살상하는 비율이다. 즉 단위시간에 하나의 B_i 또는 R_j 사격화기가 R_j 또는 B_i 표적을 살상할 수 있는 화력의 성능을 나타내는 것으로 이질적 전투력의 랜체스터 소모계수라고 한다.

신뢰할만한 "이질적 무기체계 간 랜체스터 소모계수"를 산출하는 것은 어려운 문제로서 이론적으로는 다음과 같이 모델링 할 수 있다 [4].

$$\begin{aligned} \alpha R_{ij} &= F_{ij} \times a_{ij} \\ \alpha B_{ji} &= F_{ji} \times a_{ji} \end{aligned} \quad \text{--- (6)}$$

방정식 (6) 에서 a_{ij} 또는 a_{ji} 는 주변의 영향요소를 제외한 단지 그들만 교전할 경우 사격화기가 표적을 살상하는 순수한 랜체스터 소모계수이며, F_{ij} 또는 F_{ji} 는 사격화기가 표적에 대하여 사격하도록 할당된 부분으로 사거리별 표적별 사격할당을 다음과 같이 표현할 수 있다 [5].

$$\begin{aligned} F_{ij} &= (a_{ij} \times N_i) / \sum_{i=1}^m (a_{ij} \times N_i) \\ F_{ji} &= (a_{ji} \times N_j) / \sum_{j=1}^n (a_{ji} \times N_j) \end{aligned} \quad \text{--- (7)}$$

방정식 (7)에서 N_i 또는 N_j 는 해당표적 수이며, a_{ij} 또는 a_{ji} 는 방정식 (8)과 같이 사격화기의 사격속도(V)와 단발 살상확률(PSSK)로 표현할 수 있다 [6].

$$\begin{aligned} a_{ij} &= V_j \times \text{PSSK}_{ij} \\ a_{ji} &= V_i \times \text{PSSK}_{ji} \end{aligned} \quad \text{--- (8)}$$

방정식(8)에서 사격속도(V_j 또는 V_i)는 단위 시간 동안(예: 1분 또는 10분당 등)의 사격발수로 나타내어 일정한 사격속도를 유지하는 것으로 고려할 수 있으며, 단발살상확률(PSSK_{ij} 또는 PSSK_{ji})은 직사화기의 실탄 1발이 표적에 살상을 가하는 부분으로 표적이 획득된 상태에서 사격결과는 통계적으로 독립인 것을 전제한다.

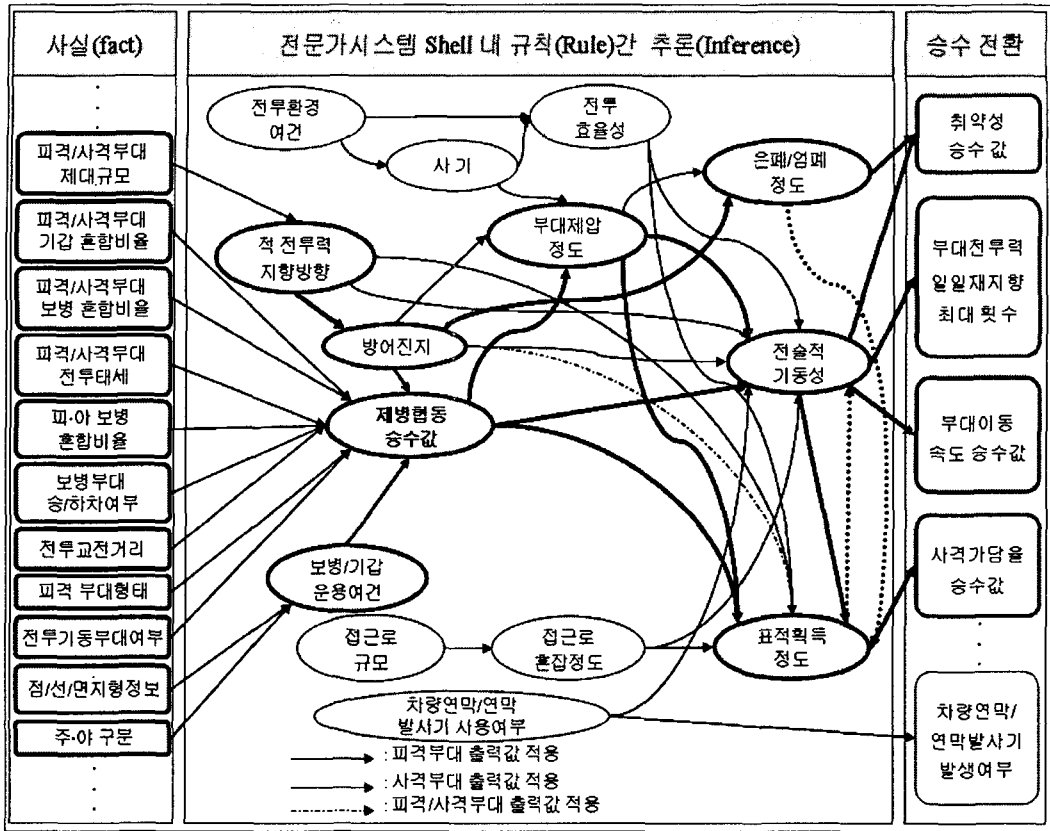
2.1.3 정성적 요소를 고려한 랜체스터형 방정식 기반 모델링

방정식 (5) 의 "복합무기체계하 랜체스터 방정식"에서 랜체스터 손실계수 αB_{ji} 또는 αR_{ij} 는 하나의 특정 사격화기가 특정 표적에 대한 화력의 성능에 의해서 표적을 살상하는 비율을 나타내는 것으로 정량화가 곤란한 사격요원의 전투훈련 정도, 전투피로도 등과 같은 표적살상에 영향을 미치는 요소는 미 반영되어있다. 미군은 이러한 정성적 요소를 반영하기 위하여 교전거리별 랜체스터형 손실계수에 전문가시스템 Rule에 의한 손실평가상황 승수 값을 적용하고 있다 [7].

정성적 요소를 고려한 랜체스터형 직접 사격 모델링은 다음의 방정식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} dR_j/dt &= \sum_{i=1}^m \{-\alpha_{Bji} \times f(QT) \times f(QL_T) \times f(QL_F)\} \cdot B_i(t) \\ dB_i/dt &= \sum_{j=1}^n \{-\alpha_{Rij} \times f(QT) \times f(QL_T) \times f(QL_F)\} \cdot R_j(t) \end{aligned} \quad \text{--- (9)}$$

방정식 (9) 에서 $f(QT)$ 는 정량화 가능한 고려요소들에 의한 승수함수이며, $f(QL_T)$ 는 표적과 관련된 정성적 요소에 의한 조정승수함수이고, $f(QL_F)$ 는 사격화기 와 관련된 정성적 요소에 의한 조정승수함수이다. 정량화 가능한 고려요소들이란 지형, 유류 및 탄약의 부족, 사거리 등에 따른 계량화된 조정승수이며, 정성적 요소란 계량화가 곤란한 표적의 은폐/엄폐 정도, 전장에서 전술적 기동능력, 사수의 표적



<그림 3> 정성적요소 결과도출을 위한 Rule-based 모델링 연동

획득능력, 전투피로도, 사기 등을 고려한 것이다. 이중에서 표적과 관련된 정성적 요소는 표적이 사수로부터 얼마나 취약한가 하는 취약성 정도를 나타낸다고 볼 수 있으며, 사격 화기와 관련된 정성적 요소는 사수의 사격 가담율을 표현하는 요소들이다.

1996년 미 육군 모의훈련사령부와 NASA의 Jet Propulsion Laboratory에서 개발한 Corps Battle Simulation(CBS) Version 1.5.2. COBRA에서는 군사 전문가에 의해서 유형적

인 정량적 요소와 무형적인 정성적 요소를 손실계수의 승수 값으로 반영하였다 [8]. <그림 3>은 전투피로도, 사기 등 정성적 요소를 손실과정에 반영하기 위해서 Rule-based 모델을 연동하여 랜체스티 손실 계수의 승수 값으로 적용하였다. 본 모델은 전체적인 전투승수효과 (Global Combat Multiplier Effects)는 반영하였지만 미래 CAI 체계 등이 연동된 망 중심체계 전쟁(Network-centric warfare)에서 다정면 다차원 동시 공간 전투수행 시 단위부

대 간 지휘통제 및 통신체계에 의한 Synergy 효과 반영에는 제한 사항이 있다.

2.2 에이전트 기반 모델링 방법론의 개념 및 이론

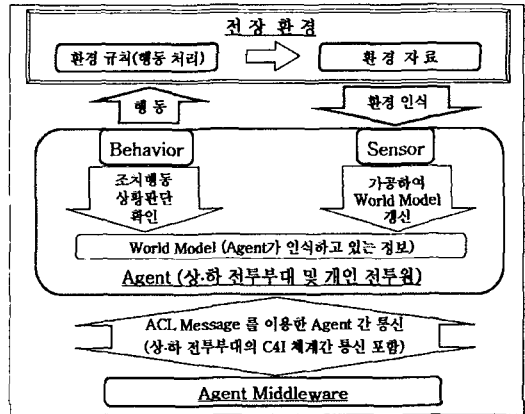
2.2.1 에이전트 기반 체계구조

본 연구에서는 방정식 기반 모델링에서 제한되는 비선형 전장공간에서 단위부대 간 지휘통제/통신체계에 의한 전투행위로 인한 Synergy 효과반영을 위해서 에이전트 기반 모델링 방법론을 제안한다.

적에게 손실을 줄 수 있는 요소가 해당 부대가 보유한 화력(Firepower) 외에 부대의 기동(Maneuver)에 의한 충격효과 또한 크다. 이러한 부대의 전투행위를 하기 위해서는 적을 먼저 탐지하고 아 부대간 원활한 지휘통제 및 통신에 의해서 신속히 적의 측·후면으로 기동 하거나 먼저 타격함으로써 협동효과(Synergy Effects)로 적에게 심대한 손실을 줄 수 있다. 특히 전쟁양상이 전선(Front Line)을 형성하는 기존 전쟁양상에 추가하여 전·후방에서 동시에 전투를 강요하는 미래의 배합전술을 고려할 때 단위부대 간 지휘통제 및 통신체계의 적시성/ 정확성은 화력의 효과를 극대화시킬 수 있는 중요한 요소이다.

이러한 전쟁양상을 모델링하기 위해서는 단위부대 간 실시간 정보를 공유하고 공유된

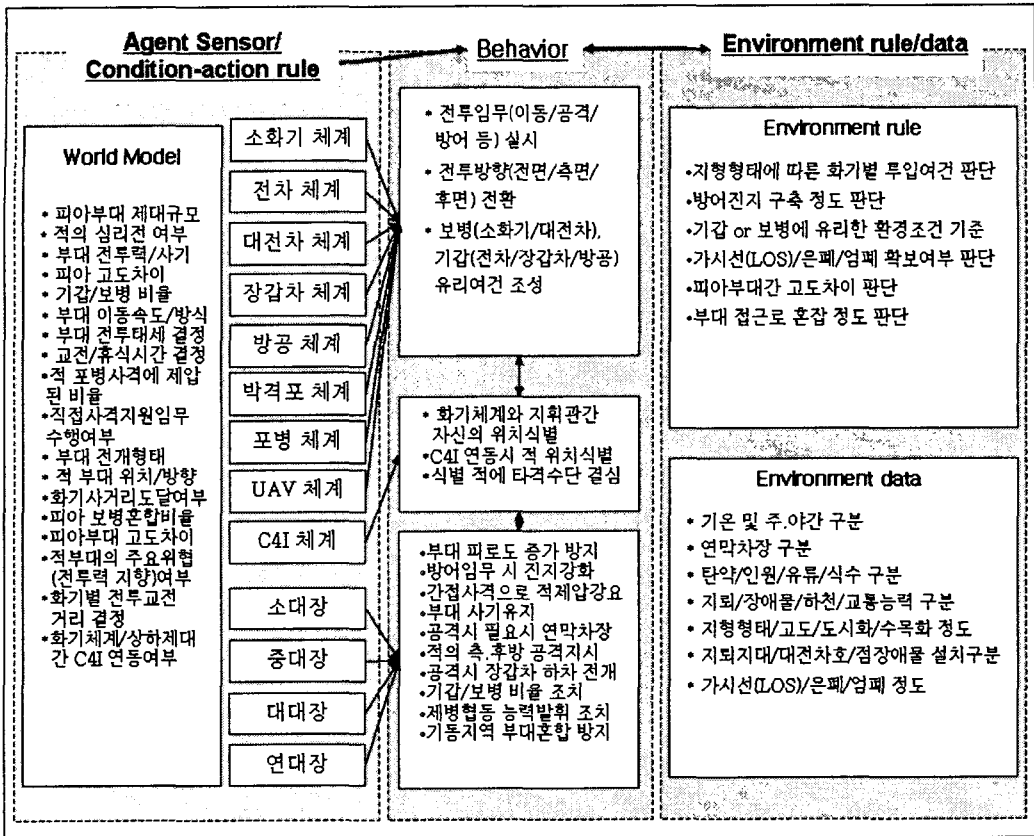
정보에 의해서 전투행위를 실시할 수 있는 모델링 방법론이 요구되며 에이전트 기반 방법론이 이러한 요구를 충족시킬 수 있다. 즉, 지능적(Intelligent)인 다중(Multi) 에이전트가 다른 에이전트들과 협동적(Collaboration)으로



<그림 4> 에이전트 기반 체계 구조

환경에 적응하면서 목표 지향적으로 행동 (Adaptability)하게 할 수 있다 [9].

본 연구에서 제안하는 에이전트 기반 모델링 방법론의 개념은 <그림 4>에서 보는 바와 같이 상·하 전투부대 및 개인 전투원인 다중 지능형 에이전트가 자신의 감각기관(Sensor)을 통해서 전장 환경 (Environment)을 인지 (Percept)하여 상황판단을 하여 관련 부대와 지휘통제 및 통신체계 ACL(Agent Communication Language) 메시지에 의한 전투조치 행동(Behavior)을 실시하게 된다. 에이전트는 소화기, 전차, 대전차, 방공 등 개별



<그림 5> Sensor - Rule - Behavior 모델링 방법론

(Individual) 에이전트와 소대장, 중대장 등 중간제대 지휘관(Local Commander) 에이전트 및 대대장과 같은 상위제대 지휘관(Global Commander)간의 즉, 다중 에이전트들 간에 지휘체계 (Command Hierarchy)에 의해서 전 수행위를 실시한다 [10].

2.2.2 에이전트 기반 모델링 방법론

2.2.2.1 Sensor - Rule - Behavior 모델링 방법론

본 연구에서 사용한 에이전트 기반 모델링 방법은 Sensor - Rule - Behavior 에 의해서 에이전트가 전투행위를 할 수 있도록 하는 것으로 개념은 <그림 5>와 같이 도식할 수 있다.

다음 <그림 5>에서 보는 바와 같이 에이전트 기반 모델링을 하기 위해서는 어떤 Sensing을 할 수 있는지 가능한 Sensor를 파악하고, 어떤 행동을 할 수 있는지 가능한 행위(Behavior)를 파악하여 가능한 Sensor와 가

능한 Behavior를 가지고 조건에 맞는 행위를 할 수 있는 조건부 행위 규칙 (Condition-Action Rule)을 만드는 것이 가장 작성하기 쉬운 방법이다. 예를 들면, 특정 에이전트가 특정 적 에이전트에 대하여 가시선 (Line Of Sight)을 확보하는 Sensing을 했다면 직사화기를 사격할 수 있는 행위 (Behavior)를 하기 위해서는 해당 직사화기의 최소-최대 사거리 내에서 가시선(LOS)을 확보한 적 에이전트에게 사격을 하는 조건행위 규칙을 작성하여야 한다. 이렇게 작성된 Sensor - Rule - Behavior는 에이전트 별 (전차, 중대장 등) 각각 다른 Sensor에 의해서 다른 정보를 획득하고, 에이전트 별 획득된 각각의 다른 정보판단에 의해서 상이한 결심 판단을 하여 에이전트 별 상이한 전투 행위를 실시할 수 있게 된다.

2.2.2.2 Finite State Machine (FSM)을

사용한 전투행위 모델링 방법론

Sensor - Condition_Action Rule - Behavior 모델링을 위해서는 각 에이전트는 각 행위에 대한 다른 상태(States)를 가져야 하며 각 상태들의 변화에 영향을 주는 사건 (Event)과의 상관관계를 연결할 필요성이 있다 [11].

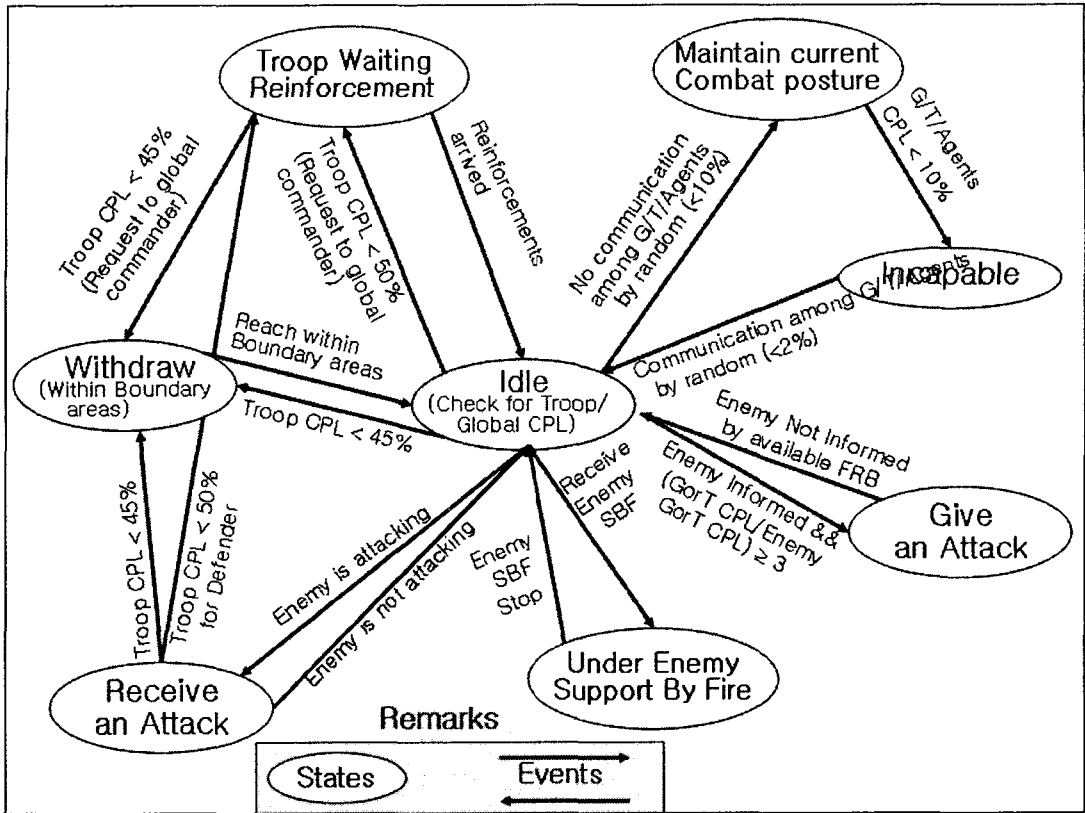
<그림 6> 은 각 에이전트 간 사건(Events)에 따른 제한된 상태들의 변화(State

Transition)를 순차적으로 나타내는 장치 (Machine)인 Finite State Machine (FSM)을 사용하여 전투행위를 모델링하는 방법이다. 상·하위 제대 에이전트 간 보고/명령 체계를 일련의 전투태세 전환점을 사건(Events)으로 하여 공격, 철수 등 전투태세 상태(States)로 전이하도록 하였다. FSM을 사용하면 Sensor - Rule - Behavior 모델링의 범위 및 규모를 결정해 줄 수 있다.

사건(Events)을 나타내는 전투태세 전환점 (Threshold)을 좀 더 실전적으로 표현하기 위해서 이산적(Discrete)인 Step Function 대신 연속적(Continuous)인 Sigmoid Smoothing Function으로 Fitting 한다 [12].

$$f(x) = \frac{1}{1 + \alpha \cdot \exp^{-\beta x}} \quad \text{--- (10)}$$

함수 (10)에서 x축의 해당 에이전트의 전투력 수준에 따라 f(x)축의 에이전트 전진속도 및 방향을 smoothing하게 결정할 수 있다. Sigmoid Fitting의 장점은 기동장비(예: 전차, 장갑차 등)의 기세유지(momentum)를 줄 수 있고, Dynamic한 전장상황에서 우발상황 (Oscillation) 이 일어나는 것을 표현할 수 있으며, 1분 단위로 동적으로 표현하여 기존의 Step Function을 대체할 수 있다. α 와 β 는 S자형 곡선(Sigmoid)의 기울기를 나타내는 것으로서 에이전트 전진속도 및 방향의 전환 정



〈그림 6〉 Finite State Machine (FSM)을 사용한 전투행위 모델링

도를 나타낸다. S자형 곡선 작성 시 전투 사거리(Range)별로 만들어 주면 사거리 별 전투력 수준에 의한 Sigmoid 를 도출할 수 있다.

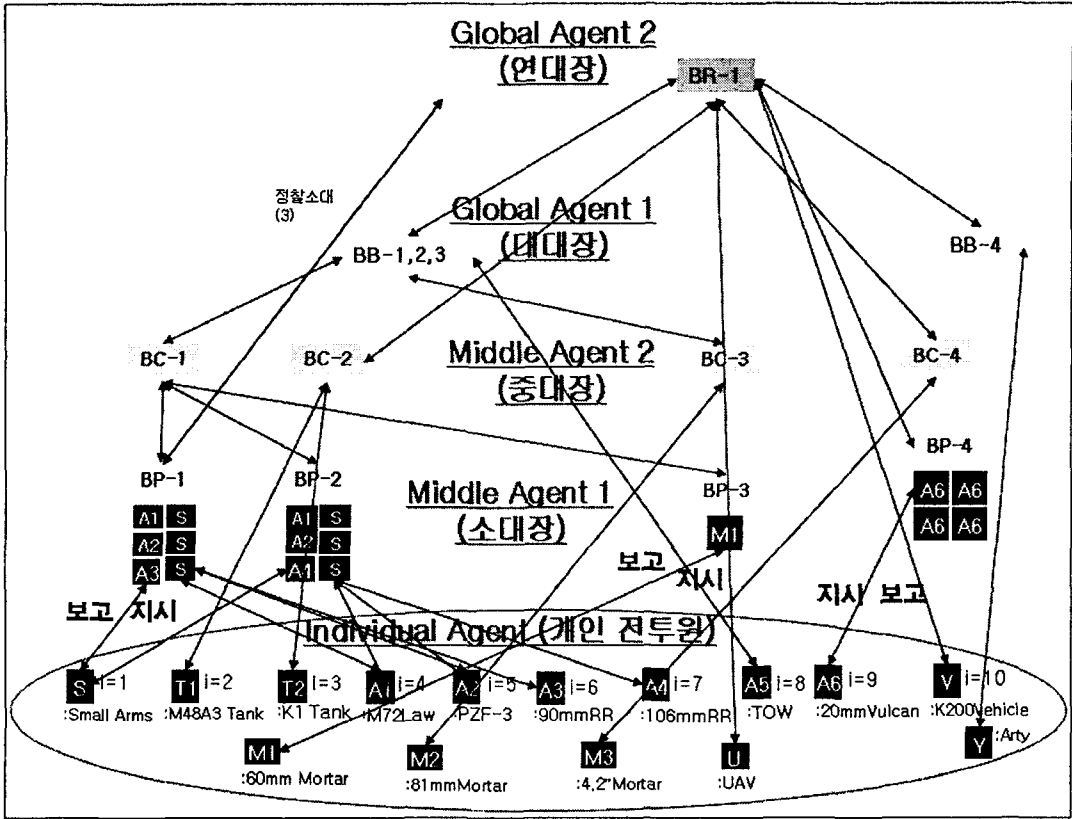
2.2.2.3 에이전트 간 상호 전투행위 유지를 위한 지휘체계 모델링 방법론

에이전트 간 상호작용(Interaction)에 의한 전투행위 유지를 위해서는 지휘체계(Command Hierarchy)를 모델링 하는 것이 필수적이다.

〈그림 7〉에서 보는 바와 같이 각 에이전

트 간 지휘를 위해서는 계층구조를 가져야한다 [13]. 본 연구에서는 3단계 계층으로 Individual 에이전트 - Middle 에이전트 - Global 에이전트로 분류하고 상위계층에 보고 및 하위계층에 지시를 하도록 하였다. 계층적 부대구조를 가지기 위해서는 다중(Multi) 에이전트 System 을 사용 하여 에이전트 집단구성(Organization)을 한다.

에이전트 집단구성은 부대제대(Unit Echelon) 별 부대형태(Unit Type)를 구성 하여 연결 구조를 작성하면 다중(Multi) 에이전



<그림 7> 에이전트 간 상호 전투행위 유지를 위한 지휘체계 모델링 방법

트를 단순화 시킬 수 있다. 예를 들면 중대급 제대는 소총중대(BC-1), 전차중대(BC-2) 등으로 분류하여 BC-1은 지휘통제 제대인 대대급 제대와 BC-2는 연대급 제대와 화살표로 연결하면 해당 에이전트는 보고 및 지시하는 상호 지휘체계에 의해서 전투행위를 하게 된다.

Individual 에이전트는 최소 전투단위에 의한 집단구성으로 많은 수의 에이전트를 모델링하여 모의 및 분석하는 데 보다 용이하게 할 수 있다. 소화기는 최소 1개 분대 집단행

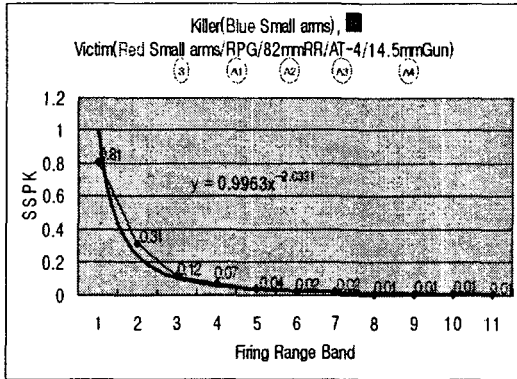
동을 고려하여 (1 에이전트 = 10 Small Arms)로 구성하고, 대전차무기는 혼합 집중운용으로 (1 에이전트 = 5 Anti-tank weapons)로 구성하며, 전차 또는 장갑차는 주요 전투장비로 (1 에이전트 = 1 Tank or 1 Vehicle)로 구성하면 실전적인 행위 묘사와 다량의 에이전트의 전투행위 모델링 충족이 가능하다.

2.2.2.4 에이전트 별 전투손실 확률

모델링 방법론

방정식 기반 모델링에서는 전투손실 유발

을 위해 랜체스터형 손실계수와 손실평가상황 승수 값을 적용하는 반면 에이전트 기반 모델링에서는 원천자료인 단발 살상확률 (SSPK: Single Shot Probability of Kill) 을 사용한다.



<그림 8> 에이전트별 전투손실 확률 산정방법

<그림 4>에서 보는 바와 같이 Condition-Action Rule에 의해서 에이전트가 전투행위(Behavior)를 하기 위해서 에이전트 Rule은 갱신된 World Model 정보를 사용하여 하고, Behavior를 처리한 전장환경(Environment) rule/data와 갱신된 World Model에 의해 사거리 별 적용된 SSPK 값을 사용하여 전투손실이 계산된다.

<그림 8> 은 청군 소화기의 단발사격에 의해서 손실을 받는 홍군 소화기, 대전차화기, 박격포, 방공화기 사수 및 장갑차 승무원의 손실확률을 나타낸다. 손실확률은 전사자료 및 전투실험에 의해 획득된 JMEM(Joint Munition Effectiveness Manual) 자료를 활용

한 것으로 <그림 8>의 청군 소화기의 유효 사거리는 최소 0m 에서 최대 460m까지 11개의 사거리Band로 구분하여 단발 손실확률을 표시하였다 [14].

11개의 사거리 Band로 구분하는 이산적인 SSPK 값을 다항식이나 지수함수 등을 이용하여 연속적인 함수 값으로 변경하면 사거리 에 따른 손실확률의 패턴을 적용할 수 있다. 즉, 11개의 사거리 Band 사이에 값을 해당 함수를 사용하여 내삽(Interpolation)에 의해서 값을 결정할 수 있다. 예를들면, <그림 8>에서 특정 시점에 전투사거리밴드(Firing Range Band)가 4.5 지점(x = 4.5)에 있다면 해당 단 발 살상확률(SSPK)은 $0.047(= 0.9963 \times 4.5^{-2.0331})$ 이다.

3. 모의 시나리오(Test Scenario) 구성

방정식 기반 대 에이전트 기반 모의 시나 리오는 최대한 유사하게 전투상황 설정을 하 여 연구실험 결과에 대한 비교분석이 가능하 도록 하였다.

3.1 청·홍군 보유화기 구성

<그림 9> 는 본 연구실험을 위해 청·홍 군 보유화기를 편성한 것으로 좌측은 방정식 기반 모델링에서 랜체스터 손실계수를 적용할

수 있도록 전체 국면(Global Aspect)에서 보
유수량을 제시하였고, 우측은 에이전트 기반
모델링 에서 2.2.2.3절 에서 설명한 바와 같이
집단구성을 하여 에이전트 집단 간 전투행위
가 적용될 수 있도록 하였다.

화기 구분	방정식 기반 보유화기 구성(수량)		Agent 기반 보유화기 구성(수량)	
	청군	홍군	청군	홍군
소화기	Small Arms(460)	Small Arms(460)	46 (= 460/10)	46 (= 460/10)
전차	M48A3 Tank(4)	T54/55 Tank(10)	4 (= 4/1)	10 (= 10/1)
	K1 Tank(6)		6 (= 6/1)	
대전차	M72Law(45)	RPG(75)	9 (= 45/5)	15 (= 75/5)
	PZF-3(45)	82mmRR(60)	9 (= 45/5)	12 (= 60/5)
	90mmRR(45)	AT-4(60)	9 (= 45/5)	12 (= 60/5)
	106mmRR(45)		9 (= 45/5)	
	TOW(30)		6 (= 30/5)	
방공	20mm Vulcan(8)	14.5mmGun(16)	8 (= 8/1)	8 (= 16/2)
장갑차	K200 Vehicle(4)	M-1973Vehicle(4)	4 (= 4/1)	4 (= 4/1)
총 수량	692	685	110	107

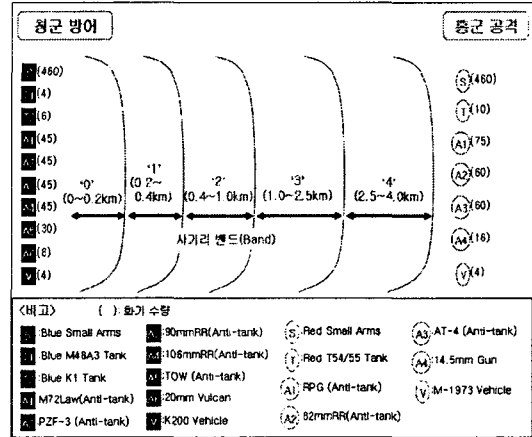
<그림 9> 청홍군 보유화기 구성(방정식) vs. 에이전트 집단구성(Organization)

3.2 방정식 기반 모델링 모의를 위한 청·홍군 근접전투 상황구성

다음의 <그림 10>에서 보는 바와 같이 랜
체스터 손실계수를 적용할 전투 사거리의 6개
의 밴드로 구분하였다 (사거리 4km 이상은
밴드 '5' 적용 포함). 전투교전은 10분 단위주
기로 전투손실을 평가하여 이산사건 모의
(Discrete Event Simulation)가 가능하도록 하
였다.

근접전투 전장상황은 매우 복잡하여 본 연
구실험에서는 전제조건으로 다음의 모의 전투

상황을 고려하였다.



<그림 10> 청·홍군 근접전투 상황구성 (방정식 기반)

- 1) 청군 방어, 홍군 공격 전투상황
- 2) 주간상황 만 고려 (야간상황 미 고려)
- 3) 연막차장 미 고려
- 4) 준비된 방어진지 강도이점 미 고려
- 5) 간접사격 미 고려
(포병/박격포 사격 미 고려)
- 6) 탄약/연료 보충 무제한 가능
- 7) 기상/지형이 전투손실에 미치는 효과
미 고려

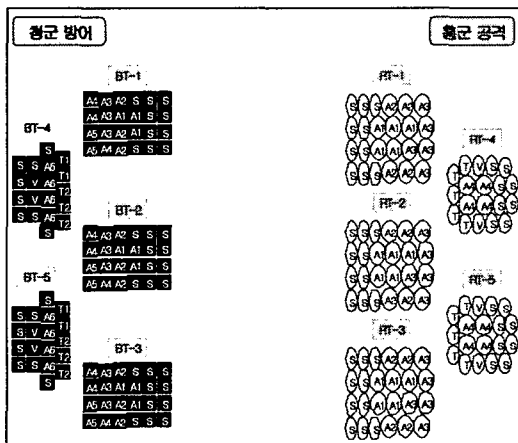
사거리 별 전진속도를 반영하여 10분 주기
전투평가를 하기 위해서 전사 자료를 준용한
전술적 기동속도를 적용하였다 [15].

- 1) 사거리 2.5~4.0 km (적의 약한저항
고려): 1.5 km/hr 전진속도 (60분 소요)
- 2) 사거리 1.0~2.5 km (적의 보통저항
고려): 0.8 km/hr 전진속도 (110분 소요)

- 3) 사거리 0.4~1.0 km (적의 강한저항 고려): 0.5 km/hr 전진속도 (72 분 소요)
- 4) 사거리 0.2~0.4 km (적의 매우 강한 저항): 0.4 km/hr 전진속도 (30분 소요)
- 5) 사거리 0.2 km 이내 (적의 강력한 저항): 0.3 km/hr 전진속도 (40분 소요)

3.3 에이전트 기반 모델링 모의를 위한 청·홍군 근접전투 상황구성

에이전트 기반 모의 전투상황은 방정식 기반 전투상황과 동일상황 상정으로 비교 분석이 가능하게 하였다.



<그림 11> 청·홍군 근접전투 상황구성(Agent 기반)

부대간 전투행위에 의한 전투손실 평가가 될 수 있도록 청·홍군 공히 부대단위 구성을 한다. <그림 11> 에서와 같이 에이전트 집단 구성을 청군 5개(BT-1 ~ BT-5), 홍군 5개(RT-1 ~ RT-5)단위부대로 하며, 소총중대

(BT-1 ~ BT-3, RT-1 ~ RT-3) 와 기보중대(BT-4, BT-5, RT-4, RT-5)로 구성하여 지휘통제 및 부대기동에 의한 전투교전 및 손실 평가가 가능하도록 하였다.

피아 전술교리에 의한 전투행위 상황조성을 위하여 다음의 요소를 적용하였다.

- 1) 이동표적 에이전트에 대해 손실감소요소 적용
- 2) 에이전트별 가용사거리에 따른 표적우선 순위 지정
- 3) 전투력수준 및 부대형태에 따라 사거리에 따른 선두/후속제대 교체 또는 사격지원
- 4) 지휘체계(Command Hierarchy)에 따른 지휘통제 및 통신유지

4. 손실산정 결과

(방정식 기반 vs. 에이전트 기반)

모의 시나리오에 의한 손실산정 결과는 방정식 기반 방법론은 사격장비의 사격 감소효과 요소가 전투력 손실에 미치는 효과를 비교하였고, 에이전트 기반 방법론은 제대별 시간대별 지휘결심사항 및 전투행위 결과분석이 되도록 하였다.

4.1 방정식 기반 방법론 손실산정 결과

랜체스터 손실계수 (Lanchester Attrition Coefficient)를 사용한 방정식 기반 방법론 손실산정 경우는 사격화기의 감소효과 고려요소에 따라서 <그림 12> 의 (A), (B), (C) 3가지

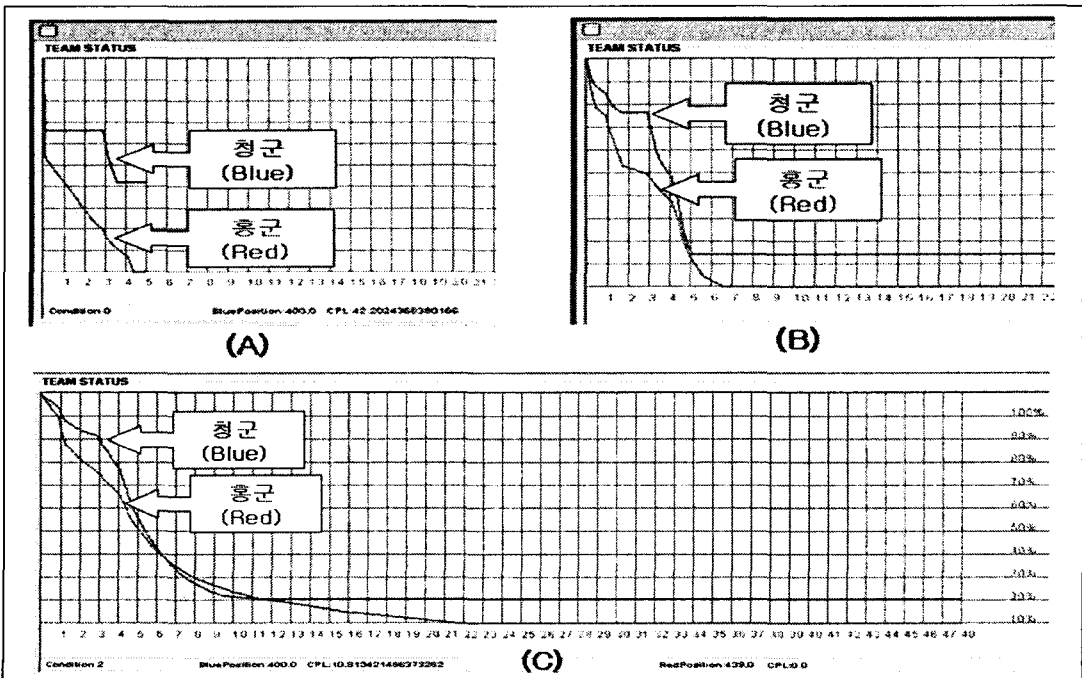
경우로 구분하였다.

<그림 12> 의 (A)는 사격화기의 사격감소 효과를 미 고려한 경우로 4시간 30분 이후 홍군(Red) 전투력이 소멸하였다. 사격감소 효과를 미 고려한 경우란 Nominal Condition 하 손실결과로서 지형/기상조건 및 피격부대의 은폐/엄폐 정도 및 사격부대의 표적획득 정도 등 피·아 전투여건에 따른 손실감소 효과를 미 고려한 경우이다. 가용 사격화기가 전부 사격에 가담함으로써 사거리가 긴 전차/ 장갑차/ 방공 화기의 경우 교전 20분 만에 90% 이상 손실이 발생하였다.

<그림 12> 의 (B)는 사격화기의 사격감소 효과 1개 요소를 고려한 경우로 6시간 40분 이후 홍군(Red) 전투력이 소멸하여 (A)의 경

우보다 2시간 10분 더 전투력을 지속하였다. 적용된 1개의 사격감소 효과요소는 가용 사격화기의 사격에 가담한 비율로서 ((현재 가용한 사격장비 수량) × (사격가담율)) 승수 값으로 적용된다. 본 모의실험에서는 표적획득 정도가 보통일 경우 사거리별 증강된 대대 급 제대가 사격에 가담할 수 있는 비율을 군사 전문가 판단에 의하여 다음과 같이 적용하였다 [16].

- 1) Range Band '0'(사거리 0.2 km 이내): 0.77 (청군 방어-홍군 공격 시)
- 2) Range Band '1' (사거리 0.2~0.4 km 이내): 0.40
- 3) Range Band '2' (사거리 0.4~1.0 km 이내): 0.38



<그림 12> 방정식 기반 방법론 손실산정 결과 그래프 (3가지 경우)

4) Range Band '3' (사거리 1.0~2.5 km
이내): 0.20

5) Range Band '4' (사거리 2.5~4.0 km
이내): 0.04

6) Range Band '5' (사거리 4.0 km 이상):
0.08

사거리별 사격부대의 사격가담 정도에 의한 감소효과로 사격가담 승수 값 적용으로 사거리 1.0 km 이상(모의 3시간 이전)에서는 손실 감소효과가 나타났으며, 사거리 1.0 km 이내에서는 소화기 및 무반동총 사격가담으로 손실이 증가하였다.

<그림 12> 의 (C)는 사격화기의 사격감소 효과 2개 요소를 고려한 경우로 11시간 30분 이후 홍군(Red) 전투력이 20% 이하로 저하되었다. 적용된 추가 1개 의 사격감소 효과요소는 증강된 대대 급 사격/피격부대가 10분 동안 부대를 재 지향 할 수 있는 비율로서 군사 전문가 판단에 의하여 22.5% 의 비율을 적용하여 $\{(현재\ 가용한\ 사격장비\ 수량) \times (사격가담율) \times (부대\ 재지향\ 비율)\}$ 승수 값으로 사용되었다. 본 모의실험 결과 (A) 경우 대비 3배, (B) 경우 대비 2배의 전투력 지속시간이 유지되었으며 7시간 이후부터 피아 소화기 및 대전차화기에 의한 교전으로 피격 부대 손실이 증가되었다.

방정식 기반모델링 방법론의 모의실험 결과 사격화기의 사격감소 효과를 승수 값으로

적용하여 통합 전투승수효과(Aggregated Combat Multiplier Effect)를 나타내고자 하였다.

4.2 에이전트 기반 방법론 손실산정 결과

피·아 전술교리에 의한 전투행위가 되도록 Sensor - Rule - Behavior에 의해서 모델링 한 에이전트 기반 방법론 손실산정 경우는 청·홍군 제대별 시간대별 지휘결심 및 전투행위 결과분석이 되도록 다음 <그림 13> 의 (A), (B), (C) 3가지 경우로 구분하였다.

<그림 13> 의 (A)는 청·홍군 공히 증강된 대대 에이전트의 시간대별 전투력 수준 변화를 나타낸 것으로 접적전진 후 2시간 30분 이후에 교전이 시작되었다. 청군 대대장 지휘결심 및 전투행위 결과는 모의시간 4시간 10분에 전방제대 요청에 따른 후속제대 증원을 지시하였으며, 4시간 50분 경과 후 철수하는 적에 대해 공격 지시를 하여 피아 교전에 의한 손실이 발생하였으며, 전투력 저하로 인하여 8시간 20분 이후에 방어로 전환하였다. 홍군 대대장 지휘결심 및 전투행위 결과는 모의시간 3시간 30분 경과 후 후속증원 후에도 전투력 저하로 공격을 중지 하였으며, 4시간 20분 이후에 예하부대 전투력 수준을 판단한 결과 철수를 지시 하였다.

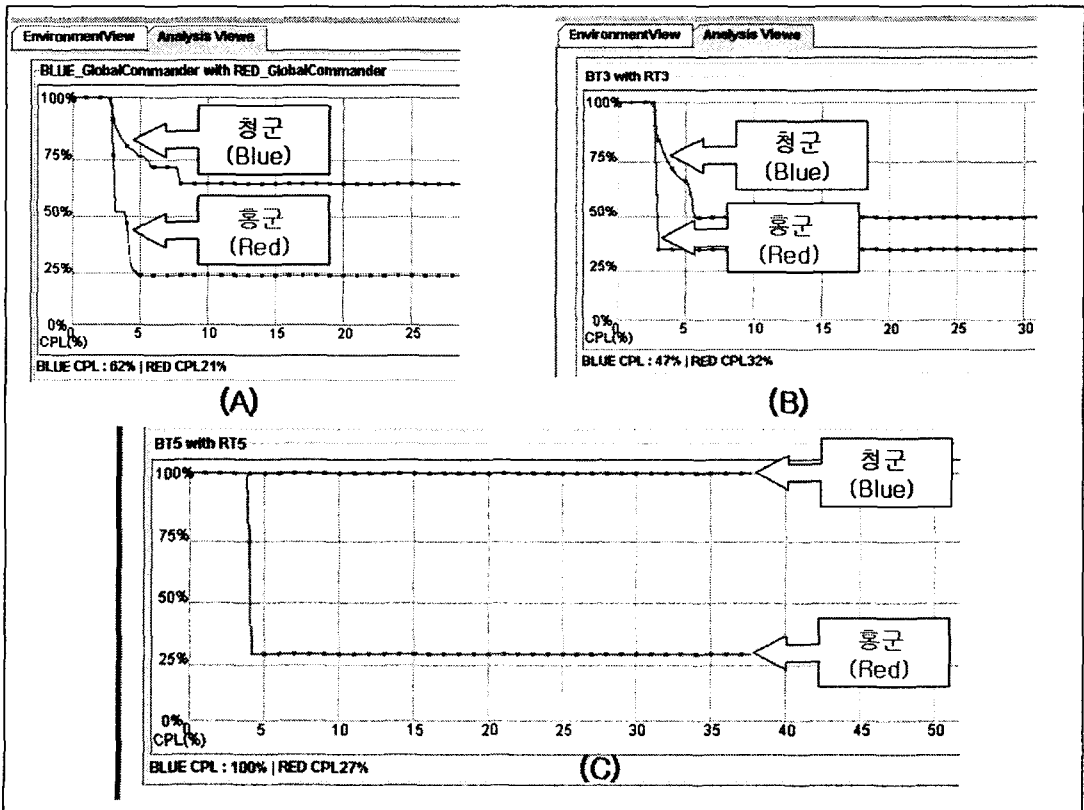
<그림 13> 의 (B)는 청·홍군 보병중대 에이전트의 시간대별 전투력 수준 변화를 나타낸 것이다. 청군 보병중대장 지휘결심 및

전투행위 결과는 모의시간 4시간 경과 후 전투력 저하로 후속제대 증원요청 후 방어임무를 지속적으로 수행하다가 4시간 50분경에 공격으로 다시 전환 후 모의시간 6시간 경과 후에는 후속제대로 교체된 후 잔존 전투력을 유지하였다. 홍군 보병중대장 지휘결심 및 전투행위 결과는 모의시간 3시간 10분 경과 후 급격한 전투력 저하로 후속제대 증원요청 후 예비로 전환 하였으며, 예비로 전환된 3시간 10분 이후에는 잔존 전투력을 유지하였다.

<그림 13> 의 (C)는 청·홍군 기갑중대 에이전트 의 시간대별 전투력 수준 변화를 나타낸 것으로 청군 기갑중대장 지휘결심 및 전

투행위 결과는 모의시간 8시간 10분에 증원제대(BT-4)에 대한 사격지원을 하였으며, 8시간 20분 이후에는 청군 기갑중대는 공격에서 방어로 전환하였으며, 홍군 기갑중대는 철수로 인하여 피아 전투력 손실이 미 발생하였다. 홍군 기갑중대장 지휘결심 및 전투행위 결과는 모의 시간 3시간 20분경에 전방제대(RT-2)를 증원하였으며, 4시간 20분 이후에는 전투력 저하로 후속제대 증원요청 후 예비로 전환하였다.

에이전트 기반 모델링 방법론의 모의실험 결과 에이전트 간 전투행위에 의한 감도분석(What-if Analysis)이 가능하였다.



<그림 13> 에이전트 기반 방법론 손실산정 결과 그래프 (3가지 경우)

5. 결과 비교분석 및 평가

(방정식 기반 vs. 에이전트 기반)

방정식 기반 모델링 방법론에 의한 모의실험 결과와 에이전트 기반 모델링 방법론에 의한 모의실험결과를 비교분석 및 평가하였다.

5.1 방정식 기반 모델링 방법론 결과 분석 및 평가

방정식 기반 모의실험 결과 피·아 전투손실이 사격/피격부대의 승수효과로 반영되어 전투손실 감소를 위한 통합 승수효과(Aggregated Multiplier Effect)로 전투지속시간이 비례적으로 산정(예: 4H30', 6H40', 11H30' 등) 되었다. 본 실험 결과는 현대의 비선형 전장 환경(Nonlinear Battlefield)과 효과위주작전(Effect -Based Operation)에서도 전투손실이 승수효과에 의해서 선형적으로만 발생할 것인지 하는 의문점이 생긴다. 즉, 미래전장의 Synergy 효과반영이 미흡하다 [17].

방정식 기반 실험에서는 많은 실험에 의해서 얻은 통계치인 랜체스터 손실 계수를 통합 매개변수(Aggregated Parameter)로 사용하여 방정식 계산에 의한 청·홍군 별 통합적으로 전투손실을 산정하여 결과를 제공한다. 이러한 통합 전투 손실 결과는 예하계대들의 적절한 전술조치에 의한 통합 손실결과가 아니라 산술적으로 Macro한 상급제대 전투손실 결과를 나타낸 것이라 할 수 있다.

본 실험결과는 무기체계 별 전투사거리에 의한 화력위주(Fire Power Warfare)의 랜체스터 손실계수에 의한 전투손실을 산정하고 기타 요소는 승수 값으로 적용하였으므로 화력 외 피·아 전술교리에 의한 전투행동이 전투손실에 미치는 영향요소는 반영하지 못 하였다.

5.2 에이전트 기반 모델링 방법론 결과 분석 및 평가

에이전트 기반 모의실험 결과 전투시간 진행에 따라 동적(Dynamic)으로 변화 되는 전장환경에 적절한 전투행위(Behavior)가 전투손실에 미치는 영향효과를 반영할 수 있었다. 본 실험에서는 적 부대의 전투상황에 따른 아군부대의 증원 및 교체 등으로 전투지속능력을 유지하고 전투력을 보존하는 실전행동 분석이 가능 하였다. 또한 화력 외 기동에 의한 전투(Maneuver Warfare)가 전투손실에 미치는 영향이 큰 현대전에서 적의 정보와 지휘체계 별 부대기동이 전투손실에 미치는 영향 정도 분석이 가능하였다.

전투손실에 영향을 주는 여러 요소들 간에 적절한 관계를 세워놓고 각 요소를 변화시킬 때 관계에 따라 전체 결과가 어떻게 나올 것인가를 따지는 것(What-if Analysis)이 가능하므로 본 실험에서도 피·아 전술교리에 의한 전투행위 상황조성을 변경시켜서 전투손실

결과분석이 가능하도록 하였다.

방정식 기반 모델링 방법론에 사용되는 손실계수 및 승수 값이 신뢰성이 있는 값인지 에이전트 기반 모델링으로 타당성 분석(Verification)이 가능하다. 본 연구에서 에이전트 기반 모의실험결과 8시간의 전투교전시간이 지속된 것을 고려 시 방정식 기반 모의실험결과 <그림 12> (B)의 6시간 40분 전투지속시간과 <그림 12> (C)의 11시간 30분 전투지속시간의 중간 승수 값을 적용하는 것이 보다 신뢰성이 있는 값이며 타당성 있는 결과 분석이 가능하다고 판단된다.

6. 군 적용 가능분야 및 차후 연구방향

전투행위에 의한 손실산정이 가능한 에이전트 기반 모델링 방법론은 현재까지는 한국군에 적용된 사례가 없으며 군에 적용될 경우 가능한 분야 및 차후 연구방향을 제시 하였다.

6.1 군 적용 가능분야

에이전트 기반 모델링 방법론의 군 적용 가능분야는 위게임 모델, 무기체계, 군사 로봇, 지휘/통제/통신/컴퓨터 및 통합정보 기능(C4I) 체계 등 첨단 분야에서 다양하게 사용될 수 있다.

전구급 분석용 위게임 모델에 적용 시, 지휘결심 시점의 자동화로 망 중심 미래 전

(Network-centric Warfare) 모의, 분석 및 평가가 가능하다. 예를 들면, 공군의 공중전 모의, 해군의 해상전 모의, 해병의 상륙전 모의 시 지휘결심 시점의 자동화 모의가 가능하며, 전구급 훈련용 위게임 모델에 적용 시에는 연대급 이하 제대 연동모의로 실전적이고 신뢰성 있는 훈련 및 평가가 가능하겠으며, 소부대급 무기체계 분석용 위게임 모델에서 기본 제원으로 적용 시에는 전쟁이 아니면 획득 불가능한 제원치 획득이 가능하겠다.

미래 무기체계의 지능화 및 로봇(Robot)화에 따라 무기체계 내 지능형 내장(Embedded) 소프트웨어(S/W) 개발 시 에이전트로 개념 구현을 할 수 있으며, 지능형 군사 로봇 개발 시 특정 목적에 맞는 인공지능 개발이 가능하며, C4I 체계 내에서는 지휘결심판단 보조기능으로 활용이 가능하다.

6.2 차후 연구방향

본 연구보다 복잡한 전장상황을 모의할 수 있는 에이전트 기반 모델링 방법론을 차후 연구 방향으로 제시하고자 한다.

미래 망 중심 전쟁(Network-centric Warfare)의 핵심체계인 C4I 체계 모의를 위해서는 먼저 탐지/정찰을 하여 지휘결심을 한 후 먼저 타격이 수행되어야 하며 이를 위한 최적의 모델링 방법론으로 에이전트 기반 방법론을 사용하고자 한다.

훈련용 모델에서는 war-game 모의진행 간 중간 과정에서 사람개입(man-in-the-loop)이 가능하나 분석용 모델에서는 특정 작전 기간 모의진행 과정에 사람 개입이 불가하므로 에이전트에 의해서 컴퓨터가 스스로 알아서 지능적으로 판단하고 행동할 수 있도록 지휘결심 체계 자동화가 필요하며 이를 위해서 에이전트 기반 방법론을 적용하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] Parunak, Savit, and Riolo. Agent-based Modeling vs. Equation-based Modeling. Proceedings of Multi-Agent systems and Agent-based Simulation (1998), P 1.
- [2] James G. Taylor. Lanchester Models of Warfare, Volume I. Naval Postgraduate School (MAR 1983), P 52.
- [3] James G. Taylor. Force-on-Force Attrition Modelling. Naval Postgraduate School (JAN 1980), P 75.
- [4] James G. Taylor. Force-on-Force Attrition Modelling. Naval Postgraduate School (JAN 1980), P 77.
- [5] Computation of direct-fire weapon kill rates for DIVLEV. US Army Material Systems Analysis Activity (JUNE 1983), P 16.
- [6] James G. Taylor. Force-on-Force Attrition Modelling. Naval Postgraduate School (JAN 1980), P 52.
- [7] Jet Propulsion Laboratory. Corps Battle Simulation(CBS) Version 1.5.2. COBRA User's Guide. U.S. Army Simulation, Training, and Instrumentation Command (NOV 1995).
- [8] U.S. Army Simulation, Training, and Instrumentation Command, CBS Ground Analyst's Guide Version 1.5.3. P4-13 (JUN 1996).
- [9] Richard Murch and Tony Johnson. Intelligent Software Agents. Prentice Hall(1999), P 10.
- [10] Marcus J. Huber. Jam Agents. Intelligent Reasoning Systems (NOV 1998), P 5.
- [11] Rafael Moreira Savelli. The Maneuver and Attrition Warfare Simulation System. Brasil Pontificia University (2004), P 5.
- [12] Young Im Cho. Artificial Intelligence System. Hong Reung Science Publisher (OCT 2003), P 70.
- [13] Andy Ilachinski. Artificial-Life Approach to War. Center for Naval Analyses (MAY 2000), P 22.

- [14] Joint Munitions Effectiveness Manual (Surface to Surface). TH61S1-A-KS-2-12 (APR 1974). Training, and Instrumentation Command (NOV 1995), P 1-12.
- [15] CBS D/B Parameter Analyst's Guide Version 1.5.3. (1996).
- [16] Jet Propulsion Laboratory. Corps Battle Simulation(CBS) Version 1.5.2. COBRA User's Guide. U.S. Army Simulation, [17] MAJ Robert Kewley & Larry Larimer. An Agent-Based Modeling Approach to Quantifying the Value of Battlefield Information. PHALANX (JUN 2003), P 13.

저 자 소 개

- 김 희 수** (E-mail: walker6440@yahoo.co.kr)
 1984 육군사관학교 40기 임관(학사)
 1989 미국 Oregon State University 산업공학(석사)
 2004 한국과학기술원(KAIST) 산업공학(박사수료)
 현재 육군본부 분석평가단 전시 자원소요 분석장교
 관심분야 위게임 모델링 & 모의, 전시소요분석, 전투실험
- 이 재 호** (E-mail: jaeho@uos.ac.kr)
 1985 서울대학교 계산통계학과(학사)
 1987 서울대학교 계산통계학과(석사)
 1997 미국 University of Michigan(박사)
 현재 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수
 관심분야 에이전트/온톨로지 기반 시스템, 지능 로봇 시스템